

PICS DE POLLUTION PAR L'OZONE A NICE : COMPARAISON ENTRE 2007 ET 2015 DES MESURES ITINERANTES ET DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES ASSOCIEES

MARTIN N.¹

¹Université de Nice Sophia-Antipolis, UMR 7300 ESPACE, 98 Bd E. Herriot 06204 Nice cedex 3, nicolas.martin@unice.fr

Résumé – Les Alpes-Maritimes sont régulièrement confrontées durant la saison photochimique à des pics d'ozone. Des campagnes de mesures itinérantes à vélo ont été menées régulièrement en 2007 et à nouveau en 2015 sur le même parcours de 50 km à Nice et dans ses environs en milieu d'après-midi entre avril et septembre. Pour chacune de ces deux années, les jours de mesures les plus pollués par l'ozone (plus de 140 µg/m³ en moyenne) ont été extraits afin de caractériser leurs configurations synoptiques (réanalyses ERA-Interim) responsables en partie des concentrations enregistrées. Sans surprise, les situations météorologiques moyennes sur ces deux groupes de jours sont proches ; dorsale anticyclonique, faibles épaisseurs de couche limite atmosphérique et brises thermiques sont associées à ces fortes concentrations d'ozone. Ainsi et alors même que les normes d'émissions Euro sont de plus en plus restrictives et que les inventaires d'émissions des polluants primaires de l'ozone illustrent des baisses marquées entre 2007 et 2015, les concentrations d'ozone ne s'atténuent pas pendant les épisodes pollués.

Mots-clés : mesures itinérantes, configurations synoptiques, pics d'ozone, réanalyses ERA-Interim

Abstract – *Peaks of pollution by ozone in Nice: comparison between 2007 and 2015 of the itinerant measures and the associated weather conditions.* The Alpes-Maritimes are regularly confronted during the photochemical season with ozone peaks. Campaigns of itinerant measures by bicycle were led regularly in 2007 and again in 2015 on the same route of 50 km to Nice and in its neighborhood at midday between April and September. For each of these two years the day of measures the most polluted by ozone (more than 140 µg/m³ on average) were extracted to characterize their synoptic configurations (ERA-Interim reanalysis) partially responsible of recorded concentrations. Unsurprisingly the average meteorological situations on these two groups of days are close; anticyclonic ridge, low thicknesses of planetary boundary layer and thermal breezes are associated with these strong concentrations. So and even when the European emissions standards are more and more restrictive and even when the emission inventories of primary pollutants of ozone illustrate reductions marked between 2007 and 2015, the concentrations of ozone do not ease during the polluted episodes.

Keywords: itinerant measures, synoptic pattern, ozone peak, ERA-Interim reanalysis

Introduction

La ville de Nice est chaque année concernée par une pollution photochimique plus ou moins marquée en fonction de l'occurrence des types de temps propices à la production et à l'accumulation d'ozone. Ce polluant secondaire est issu de réactions entre les oxydes d'azote, les composés organiques volatils non méthaniques, le monoxyde de carbone et parfois aussi le méthane, en présence d'un fort rayonnement ultraviolet. Or sur le littoral azuréen entre avril et septembre, tous les ingrédients nécessaires à l'apparition de ce gaz sont réunis : un fort trafic routier (renforcé par le tourisme), des émissions biogéniques des forêts fortement insolées ainsi que des conditions de ventilations dominées par les brises thermiques défavorables à un brassage efficace des polluants atmosphériques. Il n'est donc par rare d'observer des concentrations d'ozone dépassant les 150 ou 160 µg/m³ durant ces quelques mois.

Formidable sujet d'étude pour le géographe climatologue, l'ozone concentre une partie de nos recherches depuis plus de 10 ans. Outre l'utilisation des données enregistrées par les réseaux agréés à la surveillance de la qualité de l'air, nous récoltons également des informations à l'aide d'analyseurs d'ozone portables au cours de campagnes de mesures itinérantes. La variabilité spatiale à très fine échelle est ainsi capturée. Les différentes configurations spatiales de ce polluant peuvent alors être comparées aux conditions météorologiques jour après jour.

Durant les saisons photochimiques 2007 et 2015 deux grandes campagnes de mesures itinérantes d'ozone à vélo ont été réalisées sur un parcours identique de 50 km pendant 2 h en milieu d'après-midi. Il y a 8 ans ce trajet a été effectué 70 fois (Martin, 2008) et l'été dernier 54 fois. Nous nous proposons de présenter les journées les plus polluées et les conditions météorologiques associées, à plusieurs échelles spatiales, afin de déceler une éventuelle évolution dans l'intensité des pics d'ozone. Est-ce que le renouvellement du parc automobile soumis à des normes d'émissions Euro de plus en plus restrictives se traduit par une baisse des concentrations d'ozone pendant les périodes de temps défavorables à une bonne dispersion des polluants atmosphériques ?

1. Les concentrations d'ozone à Nice en 2007 et 2015

1.1 Campagnes de mesures itinérantes

1.1.1 Instruments de mesures

Les mesures sur le terrain ont été enregistrées par des analyseurs d'ozone 2B Technologies dont le protocole de mesure est identique à celui des instruments de mesures des associations agréées à la surveillance de la qualité de l'air en France (absorption d'un rayonnement ultraviolet de 254 nm de longueur d'onde). Entre 2007 et 2015, ce matériel a évolué en se miniaturisant encore ; ainsi les deux appareils ont été longuement comparés au préalable pour s'assurer de la cohérence de la comparaison interannuelle.

1.1.2 Parcours suivis

Les itinéraires suivis furent les mêmes pour l'ensemble des jours de mesures au sein de chacune des années, mais quelques différences sont toutefois observables sur la figure 1 entre le parcours de 2007 et celui de 2015 ; les points de mesures d'ozone différents entre les deux années n'ont pas été retenus pour le calcul de la moyenne journalière d'ozone. Les canyons urbains à forte circulation de véhicules à moteurs thermiques synonymes de fortes émissions de polluants primaires piégeant l'ozone ont été évités. Les axes bien ventilés faiblement fréquentés par les véhicules motorisés ont été préférés. Les parcours ont été empruntés respectivement 70 et 54 fois au cours des saisons photochimiques de 2007 et 2015. La durée moyenne du trajet a été d'un peu moins de deux heures. Une mesure d'ozone étant enregistrée toutes les 10 secondes, ce sont environ 720 concentrations d'ozone qui ont été géo référencées par GPS pour chaque campagne de mesures. L'intégralité des campagnes a été réalisée à vélo afin de ne pas émettre de polluants primaires susceptibles de fausser la mesure et pour emprunter des axes réservés aux piétons.

1.2 Configuration spatiale de l'ozone

1.2.1 Aspect moyen

En moyenne, et sur les deux années, le littoral est le plus exposé à la pollution par l'ozone : les concentrations s'élèvent à $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les collines périurbaines rencontrent aussi des valeurs moyennes élevées, de l'ordre de $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (au nord, à l'ouest et dans l'extrême sud-est de la figure 1). Enfin des niveaux plus faibles concernent le centre-ville et de manière générale les axes à fort trafic routier ; les concentrations d'ozone chutent même aux points nodaux de circulation et dans les rues canyon. Par ailleurs, le port de Nice connaît aussi des niveaux plutôt faibles ; en effet, la présence de ferries rejetant une grande quantité de polluants primaires piège l'ozone. Cet aspect moyen propose un aperçu de la grande variabilité spatiale de ce polluant : les variations sont parfois brutales selon l'influence de tel ou tel facteur (exposition à la brise de mer, proximité d'une source de pollution primaire, intensité de la ventilation et du renouvellement de l'air).

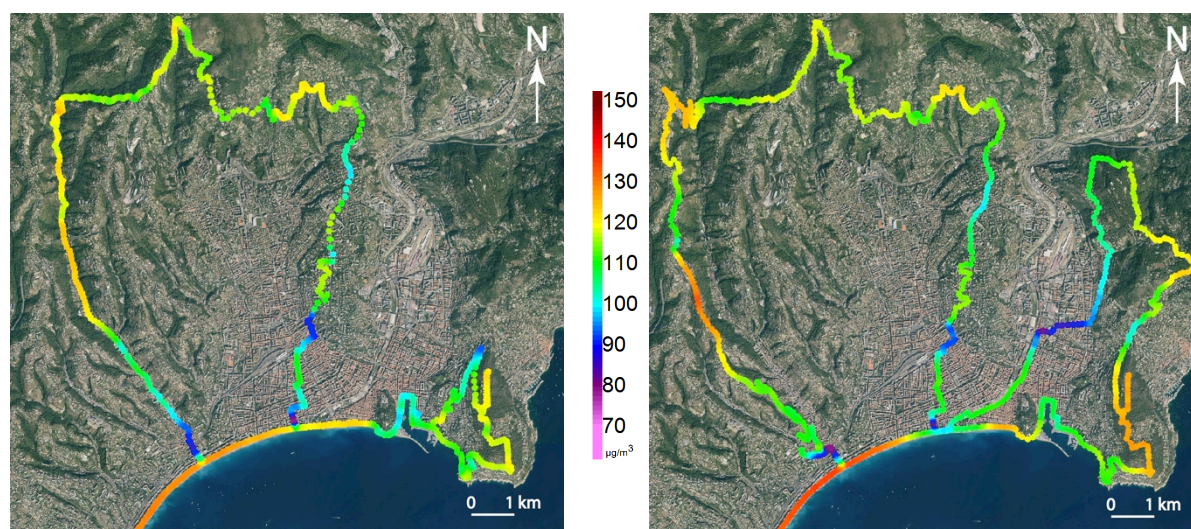


Figure 1. Configurations moyennes des concentrations d’ozone en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mesurées en milieu d’après-midi durant 70 et 54 jours entre avril et septembre respectivement en 2007 (à gauche) et en 2015 (à droite) à Nice et dans ses environs.

1.2.2 Pics d'ozone

Les pics d'ozone sont définis ici, et de manière arbitraire, comme étant les journées de mesures au cours desquelles sur l'ensemble des points communs des parcours des deux années la moyenne a dépassé $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Fortuitement 10 cas sont à dénombrer à la fois en 2007 et en 2015 ; cependant les intensités atteintes n'ont pas été les mêmes puisqu'en moyenne ces 10 jours pollués ont atteint $154 \mu\text{g}/\text{m}^3$ d'ozone l'été dernier et seulement $143 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 8 ans auparavant (tab. 1). Globalement la répartition spatiale de l'ozone lors des pics est semblable à la configuration spatiale moyenne ci-dessus et seuls les niveaux sont plus élevés de 30 à $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tableau 1. Journées de mesure dont la moyenne des concentrations d'ozone a dépassé $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur le parcours réalisé à vélo dans Nice et ses environs en 2007 et en 2015.

Dates 2015	O ₃ moyen en $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Dates 2007	O ₃ moyen en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
05/06/2015	141.0		18/04/2007	140.8
06/06/2015	144.9		20/04/2007	140.6
07/06/2015	158.4		21/04/2007	145.2
08/06/2015	141.3		22/04/2007	144.6
11/06/2015	142.5		28/04/2007	146.1
06/08/2015	164.3		29/04/2007	140.9
07/08/2015	159.8		21/05/2007	143.4
08/08/2015	167.9		22/05/2007	141.3
12/08/2015	151.2		23/05/2007	140.1
13/08/2015	165.2		18/07/2007	146.4

2. Conditions météorologiques associées aux pics d'ozone

Une fois les molécules d'ozone produites dans l'atmosphère via des réactions chimiques complexes entre des gaz précurseurs, elles sont transportées par le déplacement des masses d'air horizontalement et verticalement. Les conditions météorologiques aux différentes échelles spatiales régissent donc en partie l'accumulation ou la dispersion de l'ozone. Les pics d'ozone surviennent lors de périodes de temps faiblement ventées en surface et au sein de masses d'air subsidentes ; les réanalyses ERA-Interim vont nous permettre de caractériser la

configuration synoptique moyenne durant ces 10 cas pollués en milieu de journée en 2007 et en 2015.

2.1 Réanalyses ERA Interim

La réanalyse météorologique est une modélisation de l'atmosphère a posteriori qui a pour but d'intégrer l'ensemble des données observées à chaque pas de temps de la modélisation pour que celle-ci soit la plus fidèle possible à l'évolution d'un très grand nombre de variables météorologiques. Les résultats ainsi obtenus sont plus proches de la réalité que ce que ne l'étaient les prévisions météorologiques faites pour la même échéance. Le centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT) propose en libre accès les sorties de ses réanalyses ERA-Interim (de 1979 à aujourd'hui) à une résolution spatiale de $0,75^\circ$ pouvant être raffinées jusqu'à $0,125^\circ$ (Dee et al., 2011). Ces tailles de pixels permettent d'atteindre des échelles spatiales proches de celles des conditions météorologiques locales, largement préférables aux résolutions proposées par les réanalyses du National Centers for Environmental Prediction (NCEP).

2.2 Configurations synoptiques moyennes des épisodes de pollution

Les journées les plus polluées par l'ozone en 2007 et 2015 sont toutes marquées par la présence d'une dorsale anticyclonique surplombant le pourtour méditerranéen français et italien. Toutefois les cartographies du géopotentiel 500 hPa ne sont pas identiques ; l'anticyclone subtropical se positionne plus haut en latitude en 2015 par rapport à 2007 avec des pressions plus fortes puisque ses altitudes sont plus élevées d'une centaine de mètres. Cette différence peut s'expliquer par les dates printanières des pics de 2007 au regard de 2015, époque à laquelle classiquement les anticyclones subtropicaux sont plus bas en latitude qu'en été.

La présence de ces centres d'action génère des vitesses verticales positives sur l'extrême sud-est français et le golfe de Gènes, synonymes d'une grande stabilité atmosphérique, notamment au-dessus de la mer Méditerranée. En effet, la subsidence de la masse d'air est marquée à 500 hPa, mais faiblit ensuite au-dessus du continent à plus basse altitude ; les hauteurs de couche limite illustrent d'ailleurs la convection thermique induite par la proximité du substrat continental. A l'inverse cette dernière variable rencontre de très faibles valeurs au-dessus de la mer où les polluants atmosphériques primaires et secondaires s'accumulent dans une mince pellicule d'air de 100 à 300 m d'épaisseur (fig. 2). Cette accumulation se produit notamment la nuit lorsque le flux de brise de terre advecte au-dessus de la mer les masses d'air pollué par le trafic routier intense tout au long de la journée. Dès l'intensification du rayonnement solaire le lendemain matin, ces volumes d'air chargés en oxydes d'azote, composés organiques volatils, mais également en ozone produit la veille, sont le théâtre de nouvelles réactions de production de polluants secondaires. Ces nouveaux polluants se déplacent alors via la brise de mer sur le littoral où une hausse des concentrations d'ozone est observée ; celle-ci est provoquée par une photochimie locale à proximité des émissions de polluants primaires, mais également par un apport externe en provenance de la mer. Ce processus pluri journalier de « re-circulation » des masses d'air pollué via les brises thermiques explique pourquoi les plus fortes concentrations d'ozone sont enregistrées sur le littoral soumis à la brise de mer en journée. La confrontation des configurations moyennes de 2007 et 2015 des variables issues des réanalyses ERA-Interim ne montre pas d'évolution dans les mécanismes météorologiques décrits ci-dessus.

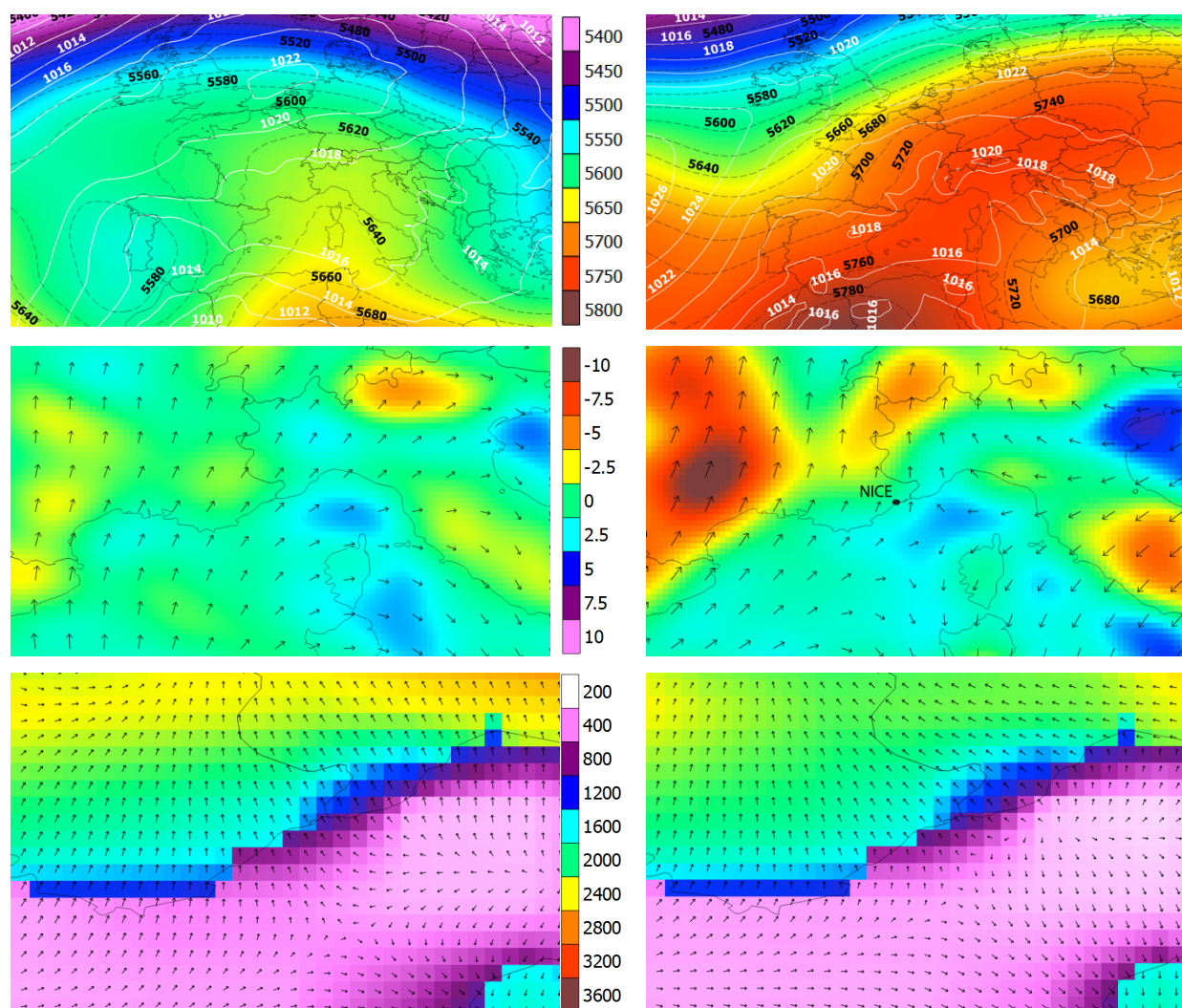


Figure 2. Configurations moyennes en 2007 (à gauche) et en 2015 (à droite) du géopotentiel 500 hPa en m et de la pression en surface en hPa (en haut), de la direction du flux à 500 hPa et des vitesses verticales en hPa/h (au milieu), et du flux à 10 m et des hauteurs de la couche limite atmosphériques en m (en bas) associées aux 10 jours les plus pollués des mesures itinérantes chaque année.

3. Discussion

Après analyse des données d'ozone récoltées sur le terrain et des conditions synoptiques moyennes associées aux jours les plus pollués de 2007 et 2015, aucune conclusion nette n'émerge. L'ozone, polluant secondaire complexe, et les pics d'ozone sont pour partie tributaires de la variabilité climatique naturelle interannuelle. Il s'agit d'un obstacle de taille au travail de comparaison présenté : les saisons photochimiques 2007 et 2015 ne proposent pas le même calendrier des situations synoptiques propices aux épisodes d'ozone. En effet, l'occurrence printanière en 2007 et estivale en 2015 des jours pollués par l'ozone nuit à l'identification d'un signal sur l'évolution des niveaux de concentrations au cours des pics. Cependant l'évolution pluriannuelle des plus fortes concentrations d'ozone ne dépend pas seulement des conditions météorologiques, mais aussi du niveau de fond d'ozone dans la troposphère ainsi que de l'intensité d'émission des gaz précurseurs.

Bien qu'étant très instable chimiquement, ce polluant persiste parfois plusieurs semaines dans l'atmosphère, et puisqu'il est tout le temps produit, naturellement ou artificiellement par les émissions des activités humaines, on constate un niveau de fond en dessous duquel les concentrations ne descendent pas (excepté en milieu urbain par destruction au contact du

monoxyde d'azote ou par dépôt sec au sol la nuit localement). Plus ce niveau de fond est élevé et moins il faut enrichir la masse d'air en nouvelles molécules d'ozone pour atteindre la même intensité de pic. Peu de postes de mesures en Europe permettent d'étudier l'évolution de cette valeur plancher ; à Mace Head en Irlande, une étude menée de 1987 à 2012 a montré qu'après avoir progressé à un taux de plusieurs $\mu\text{g}/\text{m}^3$ par an jusqu'au début du XXI^e siècle, le niveau de fond en ozone était aujourd'hui stable dans cette partie du globe (Derwent et al., 2013). Ainsi, si un signal sur l'évolution des pics d'ozone enregistrés à Nice avait clairement été décelé entre 2007 et 2015, il ne serait pas la conséquence d'une modification de cette valeur seuil de l'ozone dans la troposphère.

Par ailleurs les pouvoirs publics européens ont mis en œuvre depuis le début des années 1990 une législation contraignante pour les constructeurs de véhicules à moteurs thermiques afin de réduire les émissions de polluants primaires. Ces normes d'émissions Euro évoluent tous les 4 à 5 ans, et depuis le 1^{er} septembre 2015 la 6^{ème} version est en vigueur sur notre continent alors qu'il y a 8 ans il s'agissait seulement de la 4^{ème} version. Ainsi au fil du temps les parcs automobiles/poids lourds se renouvellent (il faut en moyenne une décennie pour un renouvellement profond), et les rejets de gaz précurseurs de l'ozone baissent. En France, le Centre Interprofessionnel Technique d'Étude de la Pollution Atmosphérique établit des inventaires d'émissions pour quantifier l'évolution des émissions polluantes sur le territoire national année après année. De 2007 à 2014 (chiffres de 2015 non disponibles), les émissions d'oxydes d'azote, de composés organiques volatils non méthaniques, de monoxyde de carbone et de méthane (gaz précurseurs de l'ozone) ont respectivement baissé d'environ 30%, 25%, 15% et 8% (CITEPA, 2015). Ces données suggéraient donc une atténuation du potentiel de production d'ozone durant les périodes de temps propices à la hausse des concentrations de ce polluant secondaire. Cependant ce n'est pas le constat qui a été dressé dans notre étude comparative entre 2007 et 2015.

Conclusion

Les mesures d'ozone menées à Nice à 8 ans d'intervalle dressent un tableau similaire de la variabilité spatiale de ce polluant et de ses concentrations, à quelques nuances près. Bien que n'étant pas le miroir parfait l'une de l'autre, les conditions météorologiques moyennes associées aux pics d'ozone sont proches, mais pas complètement identiques, et confinent les polluants dans un faible volume d'air près de la surface, ce qui a pour conséquence de faire croître leurs concentrations. Les bénéfices de la réglementation européenne, qui impose régulièrement de plus faibles rejets polluants aux constructeurs de véhicules à moteur thermique, ne s'observent pas encore à Nice et dans ses environs pour la pollution par l'ozone en moyenne et lors des pics durant ces 8 dernières années.

Remerciement : Nous remercions le CEPMMT pour l'accès aux réanalyses ERA Interim.

Bibliographie

- CITEPA, 2015. *Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et des gaz à effet de serre en France – Séries sectorielles et analyses étendues*. Paris, CITEPA, 322 p.
- Dee D. P., Uppala S. M., Simmons A. J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., ... Vitart F., 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **137** 553–597. <http://doi.org/10.1002/qj.828>
- Derwent R. G., Manning A. J., Simmonds P. G., Spain T. G., O'Doherty S., 2013. Analysis and interpretation of 25 years of ozone observations at Mace Head Atmospheric Research Station on the Atlantic Ocean coast of Ireland from 1987 to 2012. *Atmospheric Environment*, **80**, 361-368.
- Martin N., 2008. *La pollution par l'ozone et la climatologie dans un espace méditerranéen : les Alpes-Maritimes* (Thèse de doctorat). Université de Nice – Sophia Antipolis, France.